

**СВОЙСТВА ИЗЛУЧЕНИЯ ГАММА-
ВСПЛЕСКОВ В
ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ
ДИАПАЗОНЕ ПО ДАННЫМ
Fermi/LAT, КОРОНАС-Ф/АВС-Ф и
ФОТОН/НАТАЛЬЯ-2М**

**И.В. Архангельская (I. V. Arkhangelskaya@terphi.ru) ,
А.И. Архангельский**

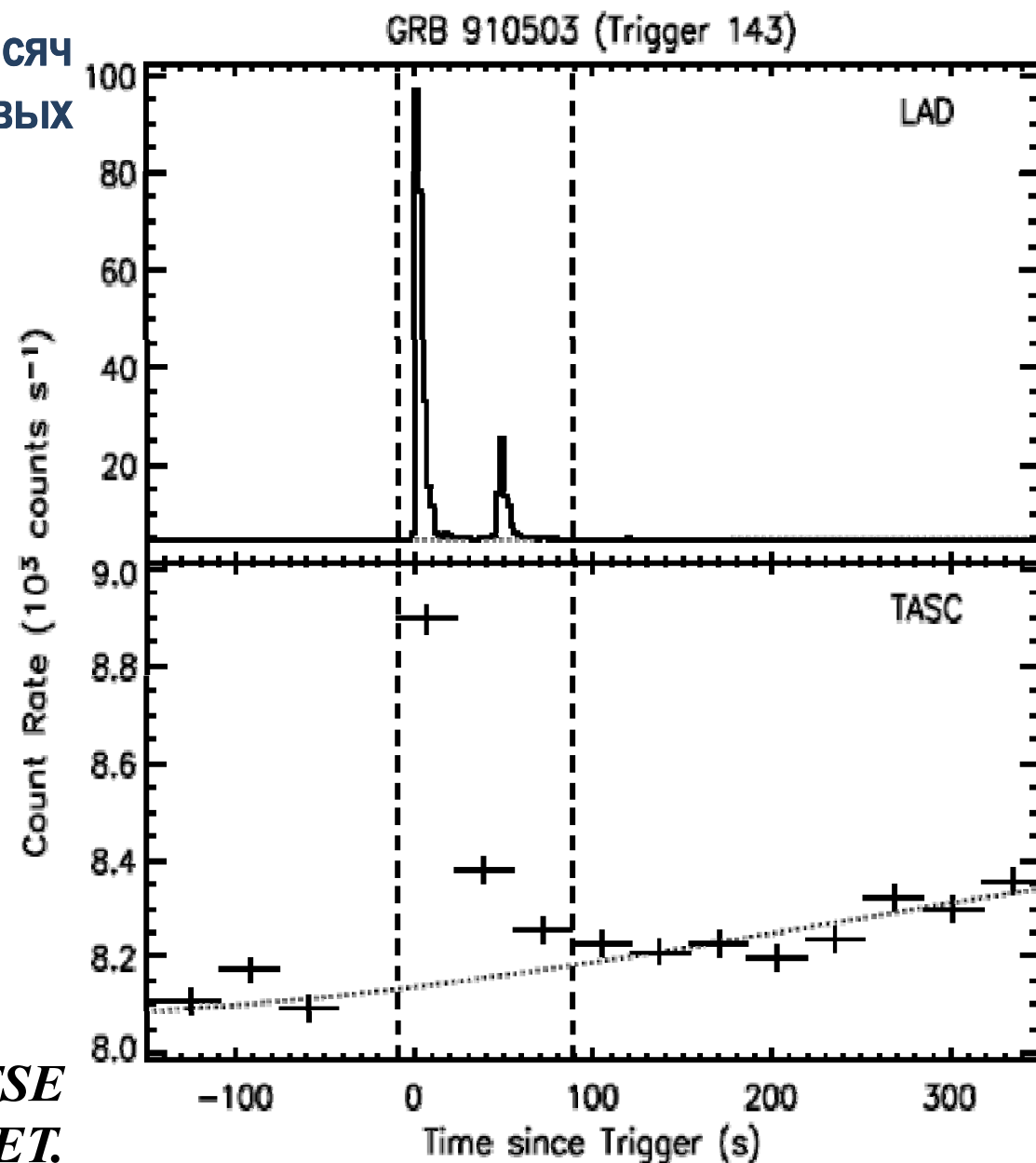
Национальный Исследовательский Ядерный Университет «МИФИ»

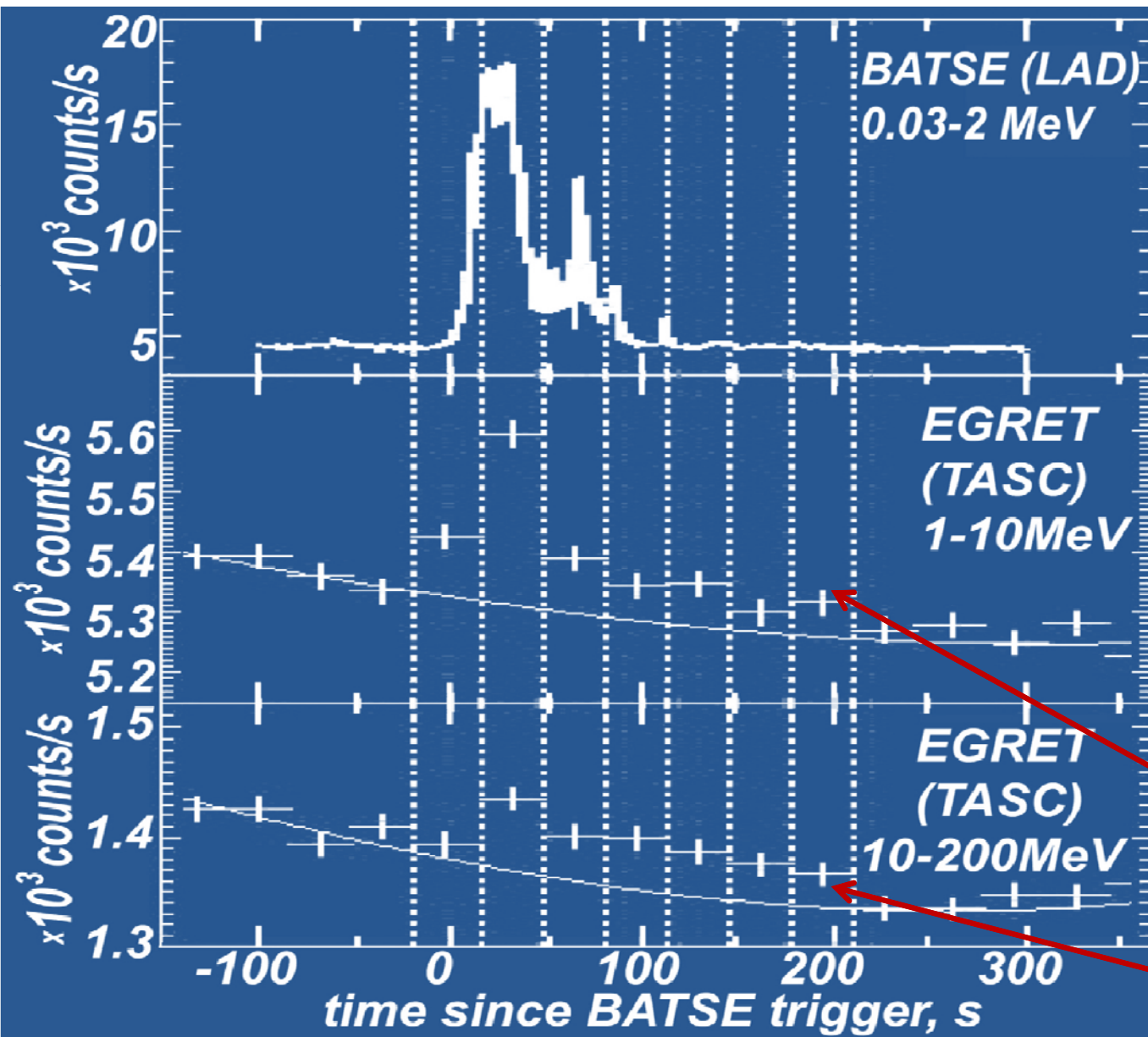
GRBs наблюдаются с 1967г., 2024 - несколько тысяч событий, >20 каталогов по данным >40 спутниковых и наземных экспериментов.

Высокоэнергетическое излучение от GRBs впервые было зарегистрировано в экспериментах на борту космической обсерватории имени Комптона (Compton Gamma Ray Observatory – CGRO), функционировавшей в 1991-2000гг (Dingus, 2000).

анализ данных - энергетические спектры большинства GRB хорошо описываются моделью Бэнда в широком энергетическом диапазоне

Временные профили GRB910503 (BATSE trigger #143) по данным BATSE и EGRET.

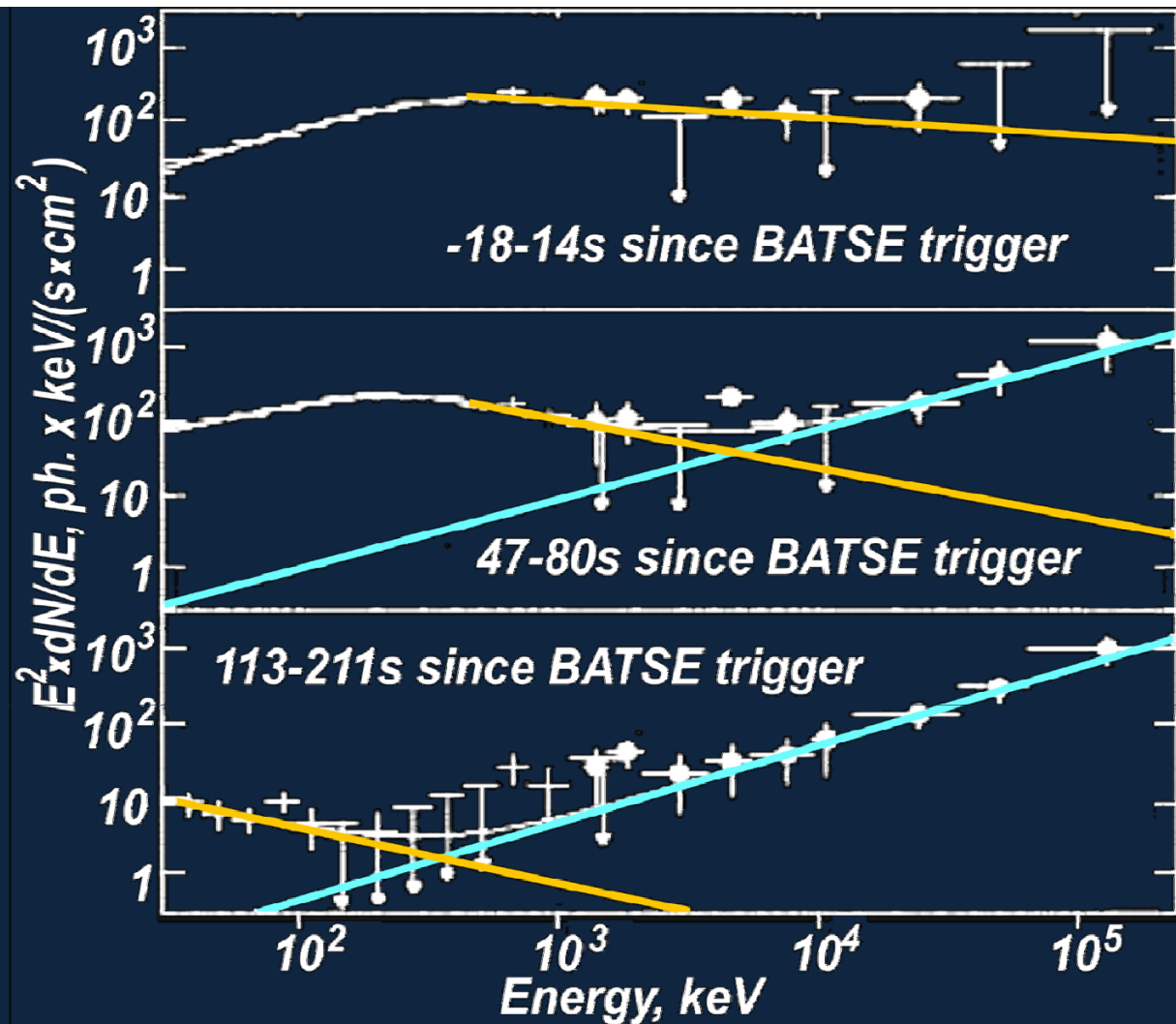




В спектрах некоторых GRB было обнаружено присутствие новой компоненты в диапазоне до 200 МэВ, не соответствующей модели Бэнда

GRB 941017: структура временных профилей разная в различных энергетических диапазонах:

”ХВОСТ” в НЕ-диапазоне?



Энергетический спектр GRB941017:
вторая компонента модели Бэнда и
 аппроксимация высокоэнергетической части

Спектр этого всплеска содержит дополнительную не-Бэндовскую компоненту (HE) в диапазоне высоких энергий.

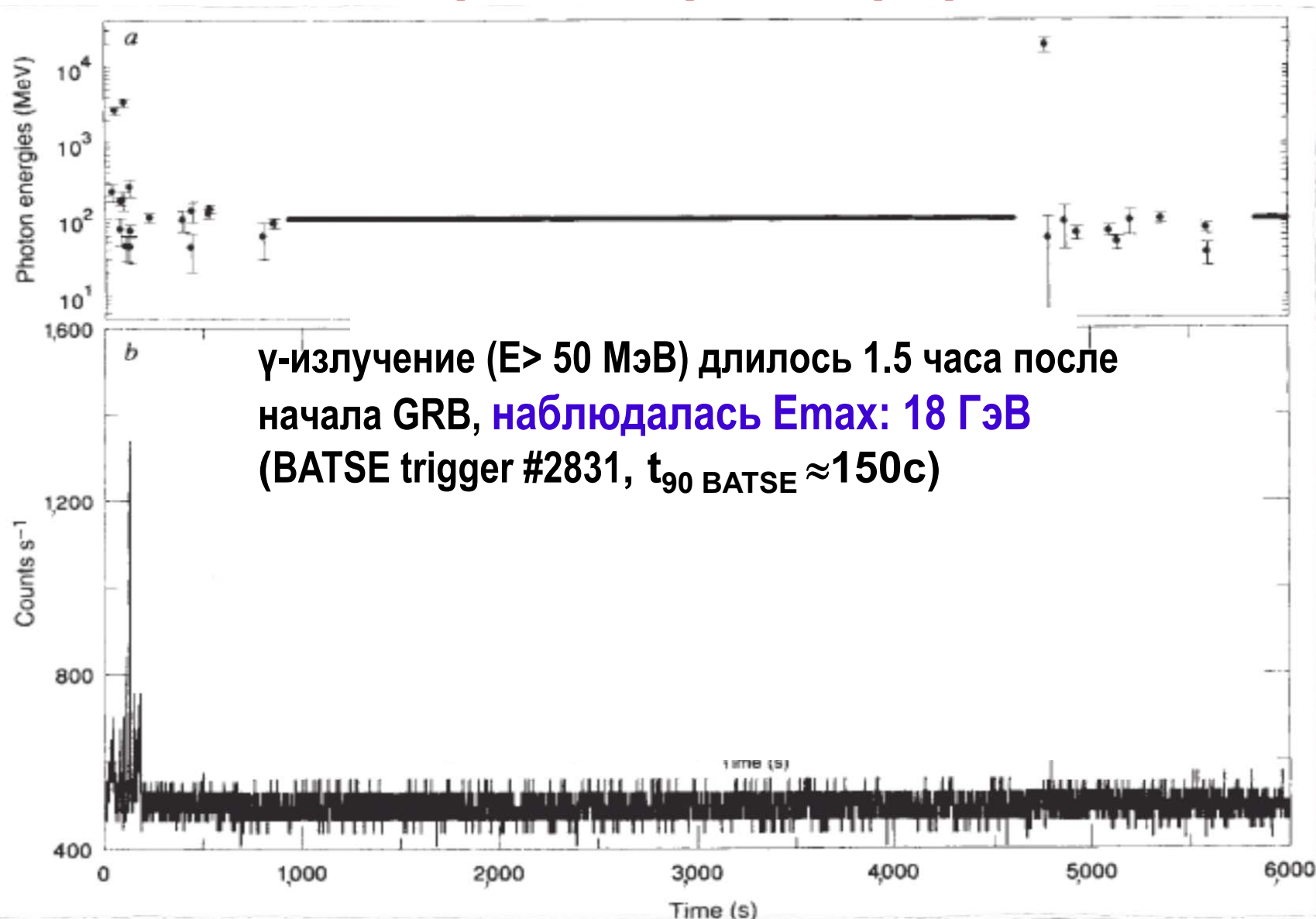
Спектральный индекс этой HE-компоненты: $\gamma \approx -1$

Хорошо видно различие между компонентами.

????: где именно происходит переход между компонентами при высоких энергиях?

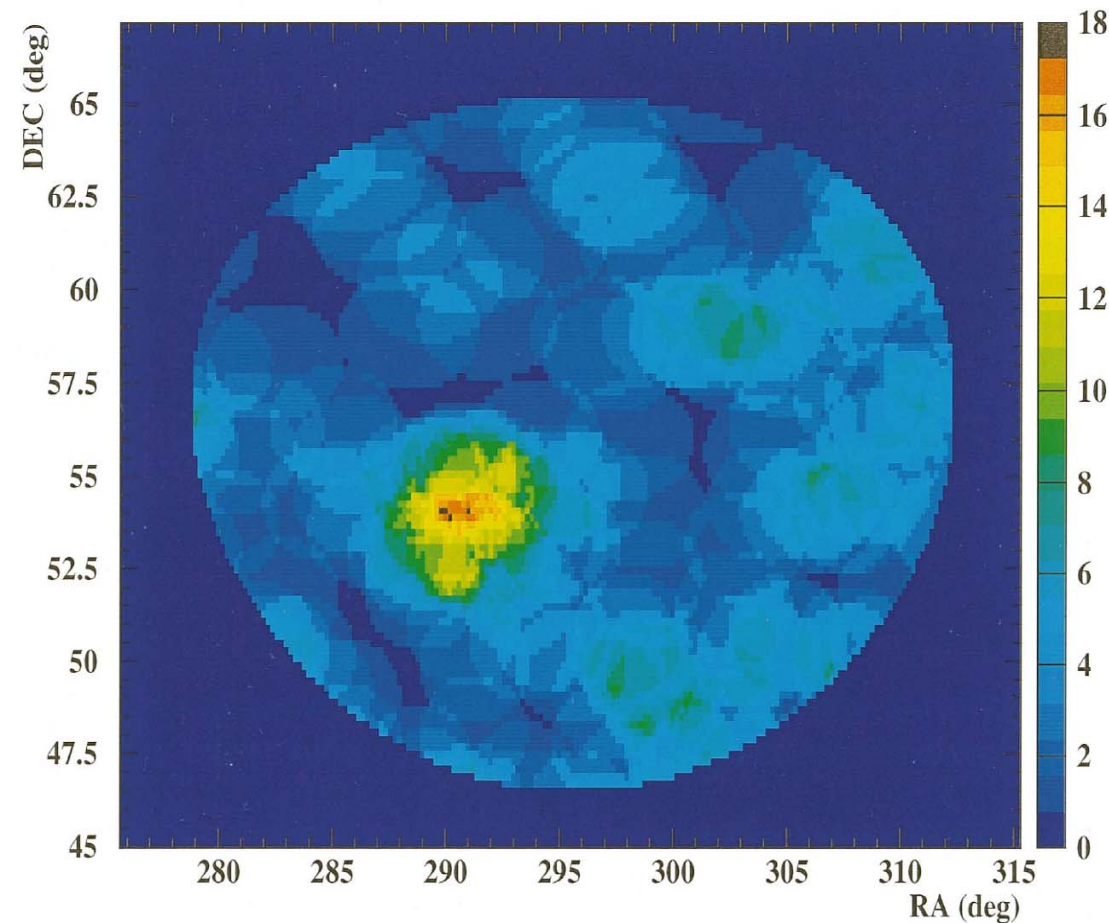
!!! 2 спектральных разрыва во время быстрой фазы GRBs:
 E1 – между 2мя компонентами модели Бэнда,
 E2 – соответствующий началу HE-компоненты, $E_p \sim 0.3 \div 20$ MeV

GRB940217 впервые зарегистрировано HE-послесвечение



В разных
диапазонах разная
структура
временных
профилей →
основание
предполагать
наличие
послесвечения

*GRB940217 по
данным EGRET
и ULYSSESS*



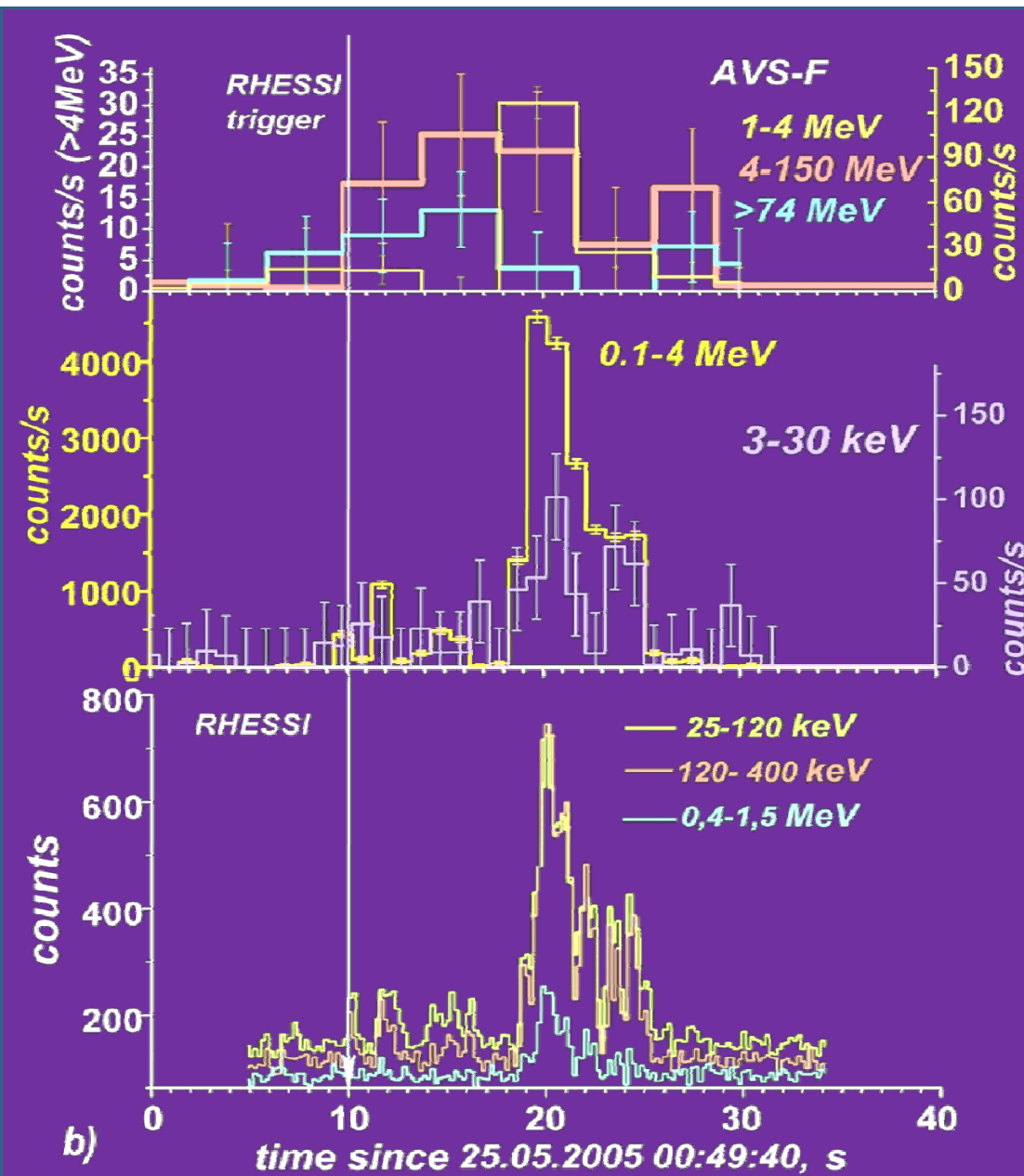
**Впервые $E \sim TэВ$ во время GRB -
анализ данных Milagro:
GRB 970417a – несколько
фотонов с $E \sim 650$ ГэВ
(Atkins, 2000)**

**Высокоэнергетическое излучение
во время быстрой фазы?**

**Количество событий, зарегистрированных
Milagro в течение T_{90} в пределах 17.6 бин по
расстоянию относительно GRB 970417a**

Высокоэнергетическое излучение GRBs по данным CGRO (5.04.1991 – 4.06.2000)

- во время 15 GRB зарегистрировано излучение с $E > 120$ МэВ (Kaneko et al, 2008)
В основном, не наблюдалось быстрой фазы с $E > 200$ МэВ
- значения спектральных параметров обычно монотонно убывали с ростом скорости счета или их поведение соответствовало временному профилю.
- во время некоторых GRB – наблюдалась новая высокоэнергетическая спектральная компонента (920902, 941017 и 980923)
- большей частью одинаковая структура временных профилей в разных диапазонах (исключая события с не-Бэндвской компонентой в спектре):
 - ❖ одинаковое количество значимых пиков
 - ❖ приблизительно одинаковое соотношение интенсивности между пиками
- несколько GRB → **HE-послесвечение** $E_{\max} \sim 18$ ГэВ
- 1 GRB → быстрая фаза в диапазоне **subTeV** (Milagrito)

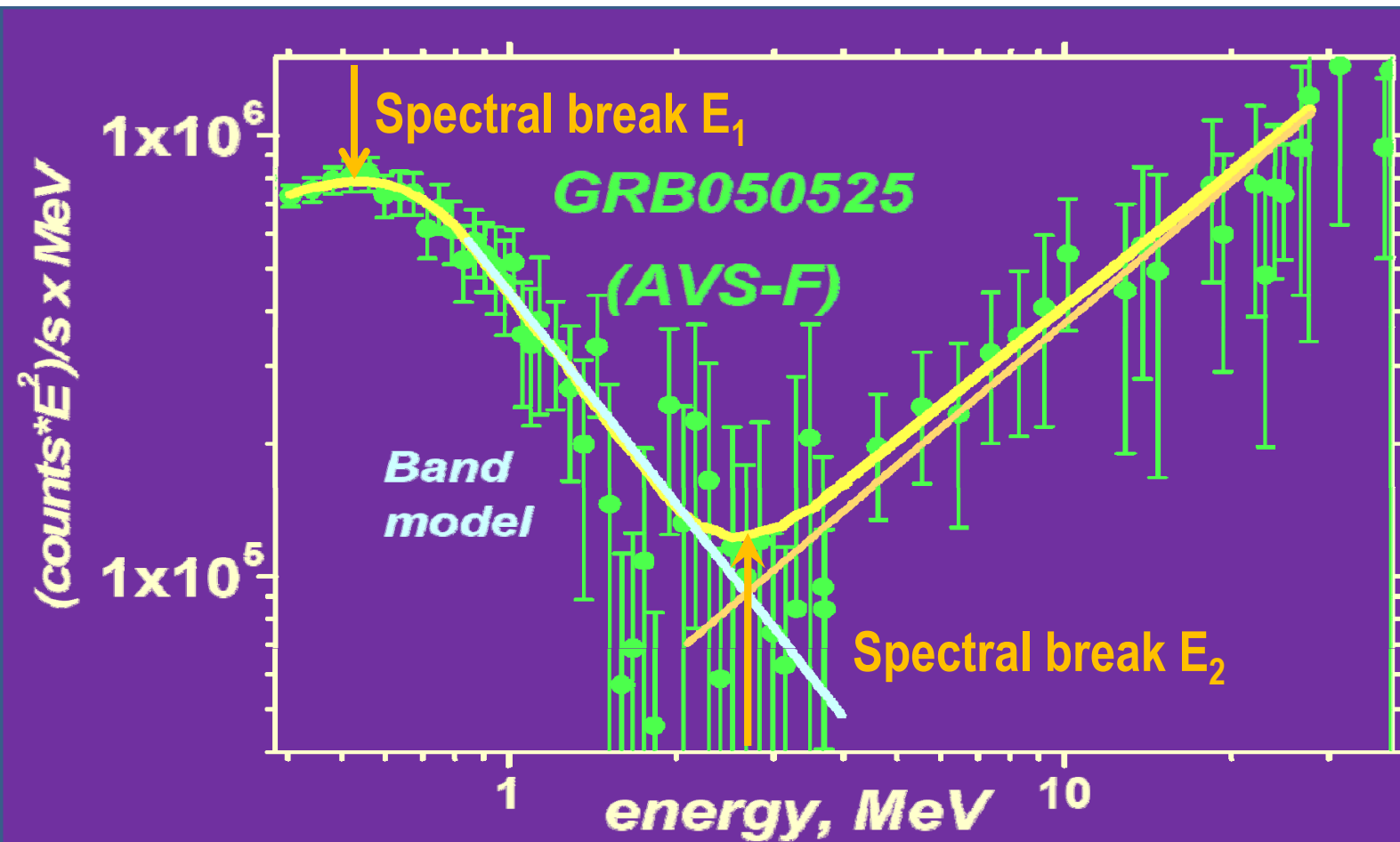


АВС-Ф/СОНГ-Д/КОРОНАС-Ф
(31.07.2001 – 6.12.2005)

Обнаружено различное поведение временных профилей быстрой фазы в диапазонах десятки кэВ ÷ несколько МэВ и не совпадение положения пиков

Наблюдалось несколько пиков на временном профиле GRB050525 в области низких энергий по данным RHESSI, пик при $t \sim 20$ с был с I_{max} . Но в областях 4-150 МэВ и 3-30 кэВ поведение временных профилей отличалось.

Временные профили GRB050525 по данным АВС-Ф и RHESSI



HE спектральная
 компонента
 в спектре GRB050525
 $E_2 = 2.4 \pm 0.1$ МэВ

Энергетический спектр GRB050525 по данным
 АВС-Ф/СОИГ-Д(КОРОНАС-Ф) :
 Вторая компонента модели Бэнда и
 аппроксимация для высокоэнергетической части

данные CGRO и
 АВС-Ф
 ↓
 $E_2 \sim 3 \div 20$ MeV

Высокоэнергетическое излучение GRBs по данным ABC-Ф/КОРОНАС-Ф

➤ (подобно CGRO) зарегистрировано излучение с $E > 50$ МэВ во время нескольких GRBs (Arkhangelskaja et al, 2007, 2010).

➤ **Различное поведение временных профилей быстрой фазы в диапазонах десятки кэВ ÷ несколько МэВ и не совпадение положения пиков**

Позднее подтверждено результатами анализа данных CGRO ...

➤ (подобно CGRO) всплески только с предвестниками в области низких энергий (до сотен кэВ)

➤ **некоторые GRB → подавлено или слабо проявляется смягчение спектров**

Позднее подтверждено результатами анализа данных CGRO ...

➤ (подобно CGRO) некоторые GRB → новая высокоэнергетическая спектральная компонента, спектральный разрыв E_2 : $\sim 3 \div 20$ MeV

!НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ → высокоэнергетическое гамма-излучение GRBs: в основном, Fermi

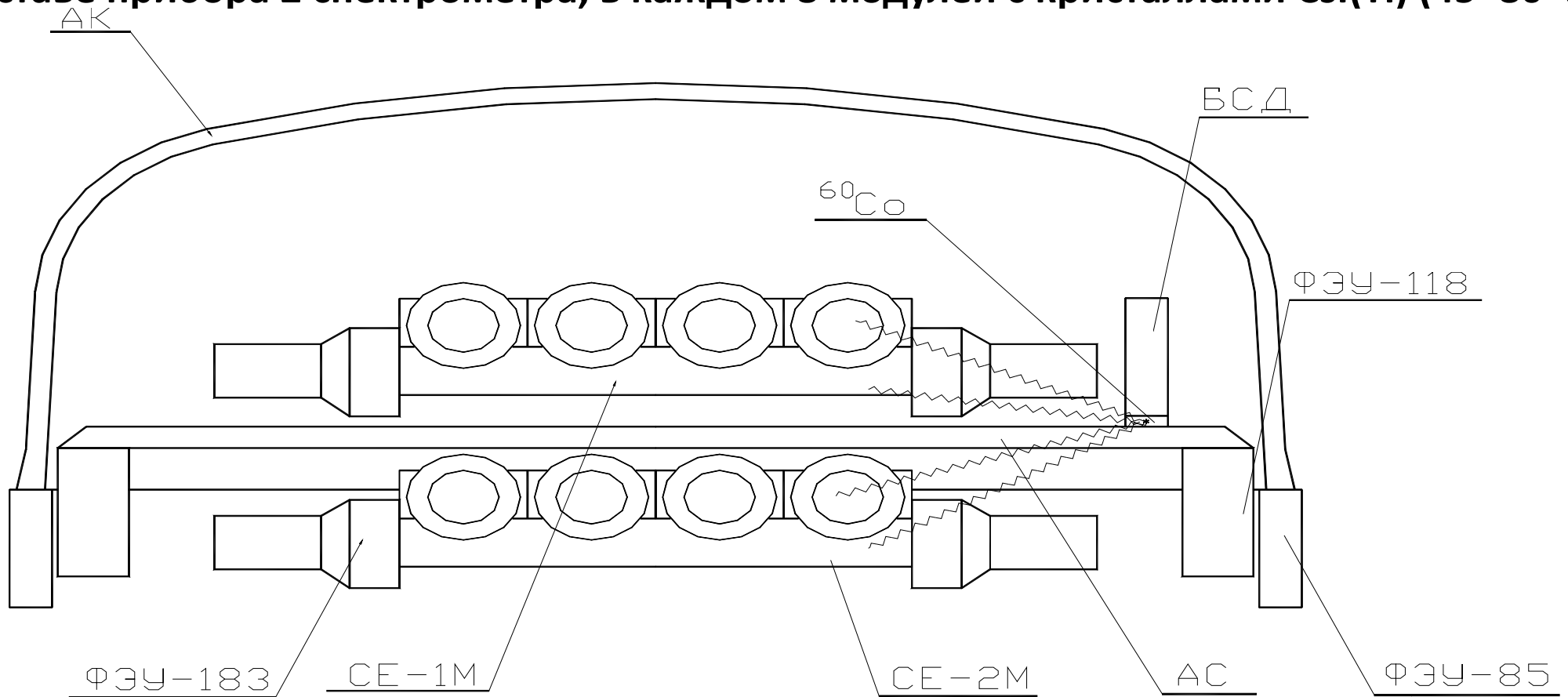
- **Главным образом все свойства → характеристикам, полученным в результате анализа данных CGRO и ABC-Ф**
- **Дополнительная HE-компонента в энергетических спектрах**
- **Предвестники в широком энергетическом диапазоне**
- **Новый разрыв в спектре E3 → Соответствует протяженности HE-компоненты в диапазон низких энергий до десятков кэВ?**
- **Зарегистрировано послесвечение (продленное HE) как длинных, так и коротких GRBs, причем для GRB 190114C, GRB 180720B и GRB 221009A в субТэВ и ТеВ диапазонах по данным наземных экспериментов**

Детектор НАТАЛЬЯ-2М (ИСЗ КОРОНАС-ФОТОН)

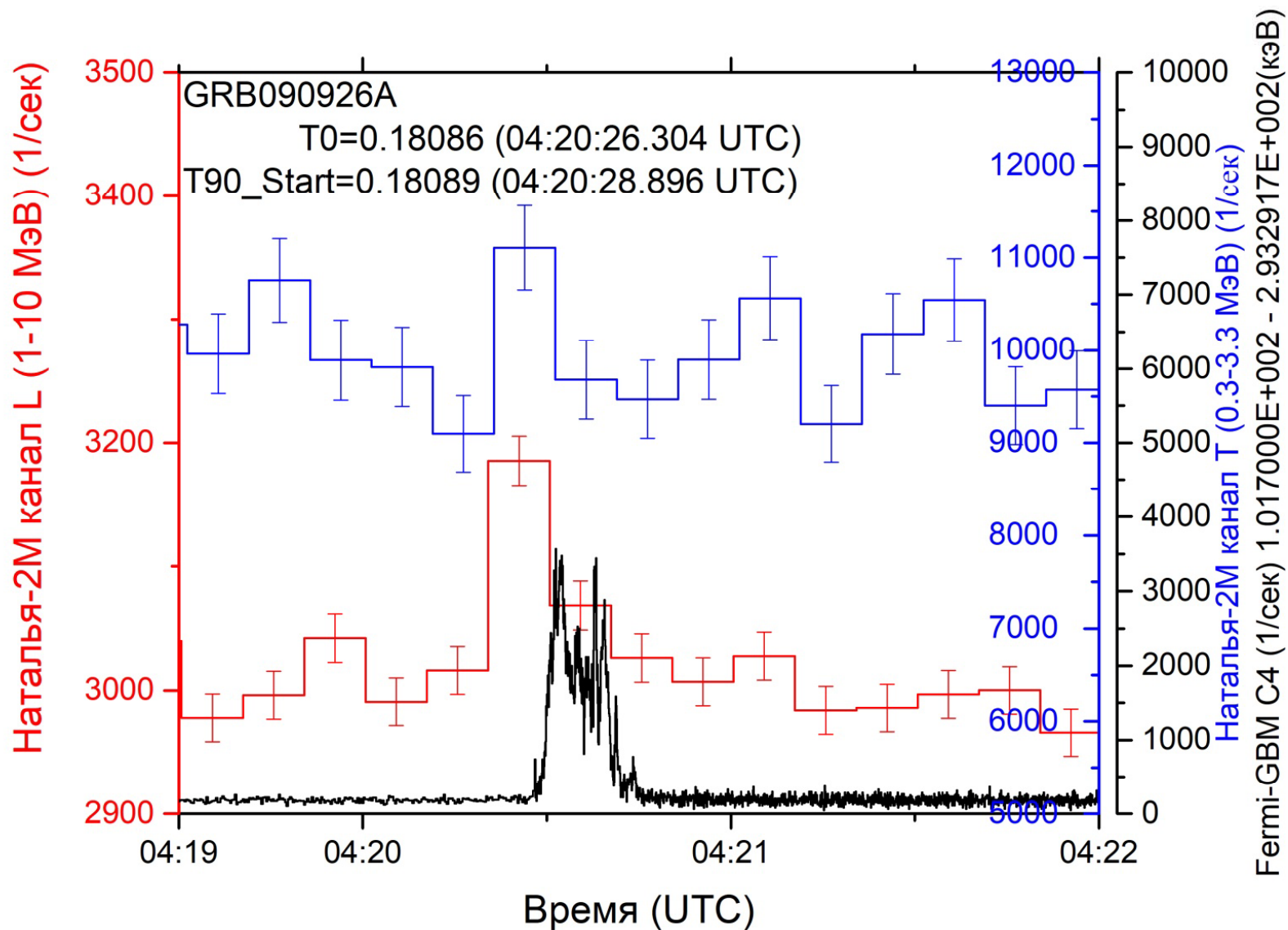
Период активного функционирования (наличие научной информации в сеансах)

20.02.2009-30.11.2009.

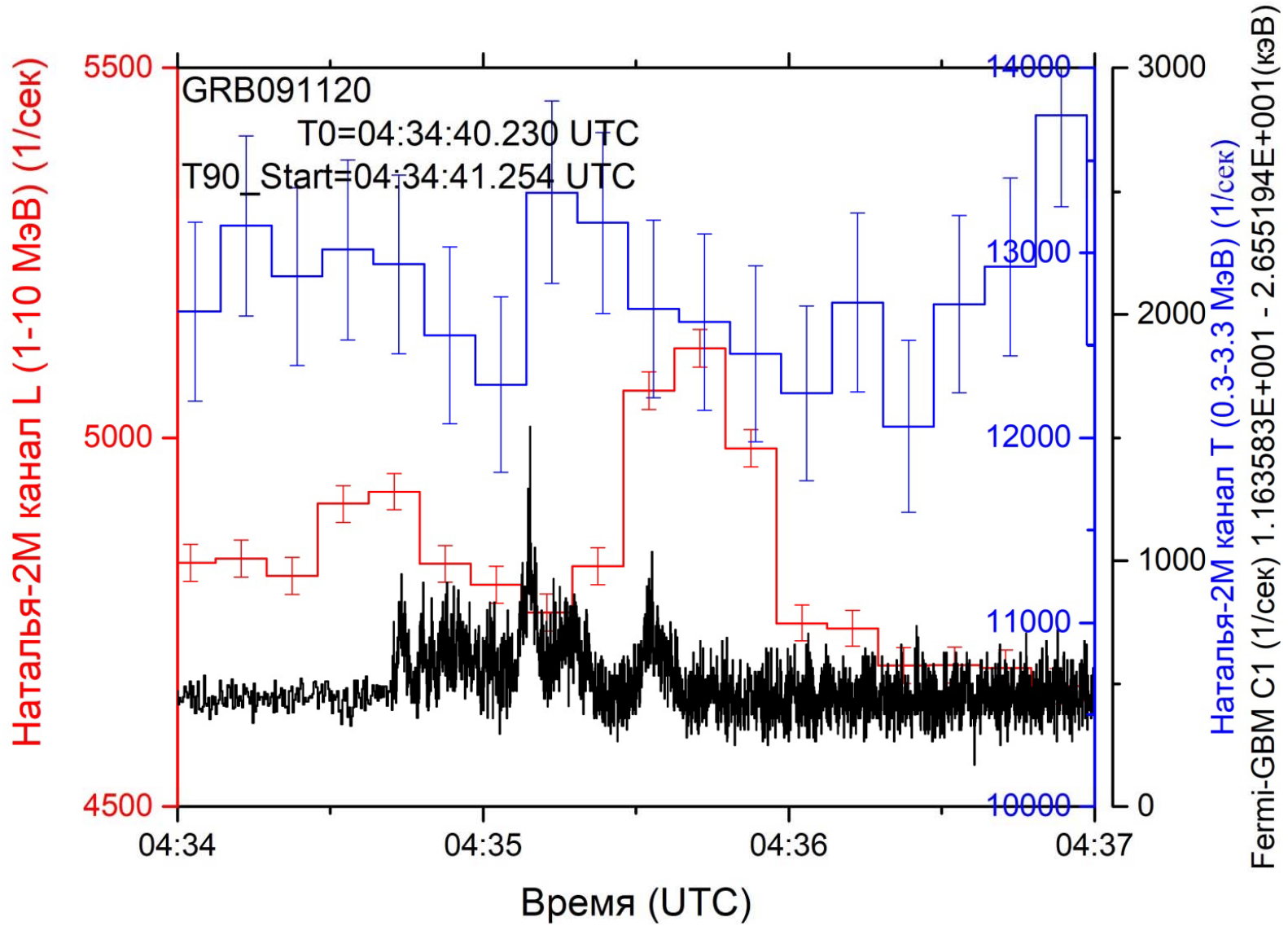
В составе прибора 2 спектрометра, в каждом 8 модулей с кристаллами CsI(Tl) (45×80×360)



Временные профили GRB по данным НАТАЛЬЯ-2М и Fermi/GBM



Временные профили GRB по данным НАТАЛЬЯ-2М и Fermi/GBM

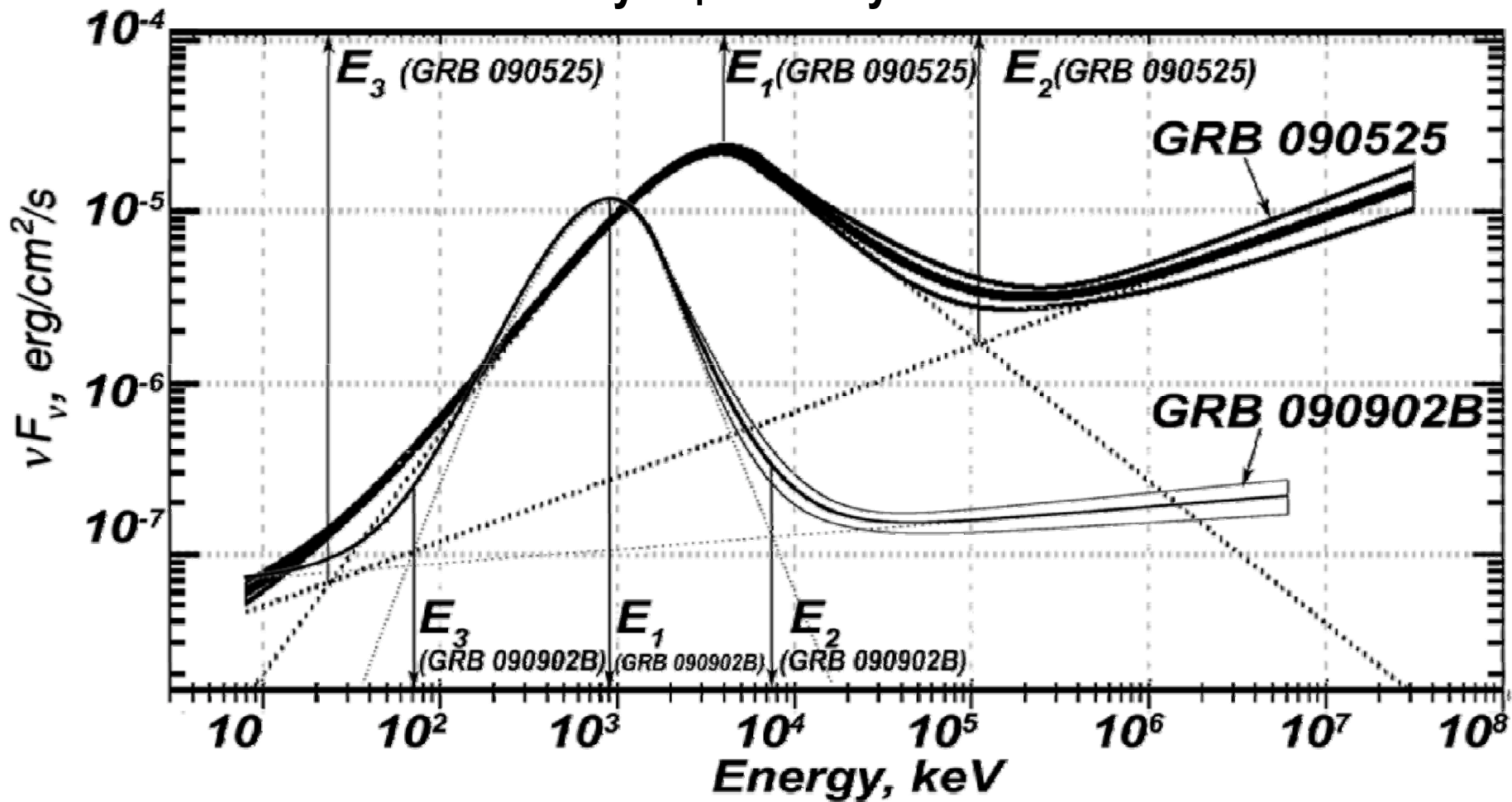


Fermi: 3й спектральный разрыв (полностью 3 разрыва в спектрах)

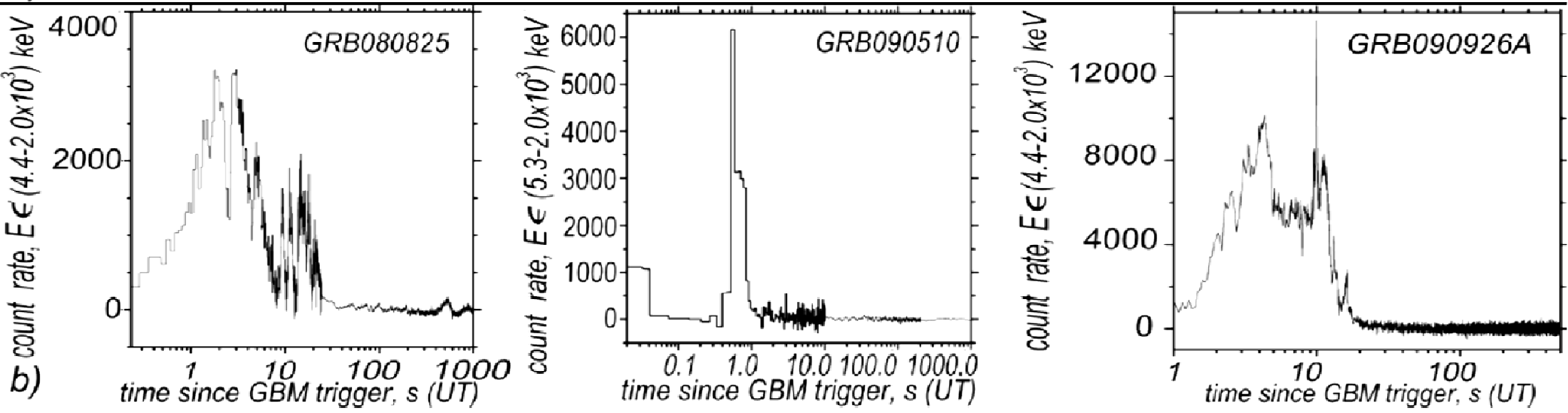
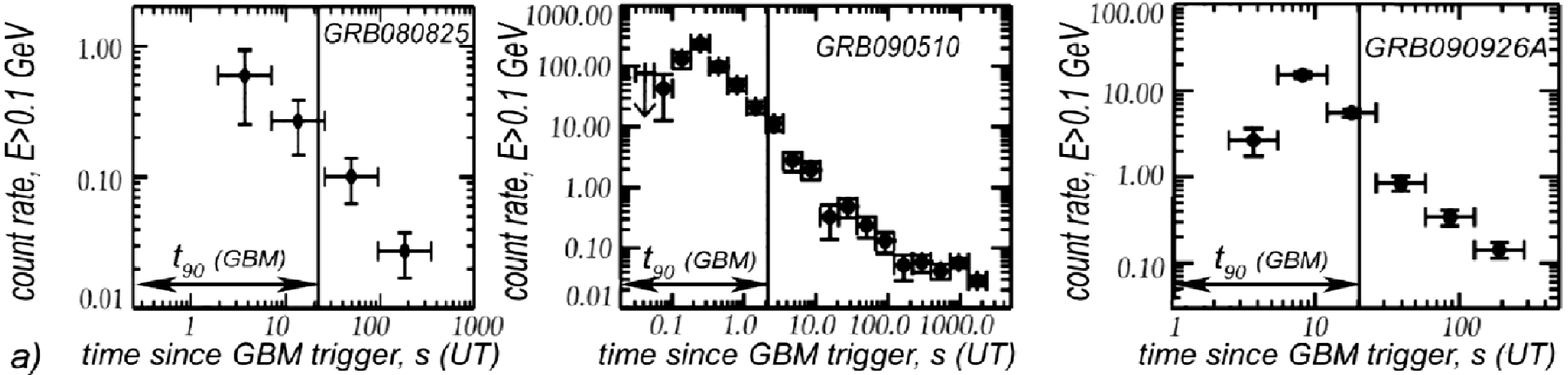
E3 – низкоэнергетическая компонента (десятки кэВ).

Было ранее: E1 – между 2мя компонентами модели Бэнда

E2 – соответствующий началу HE-компоненты

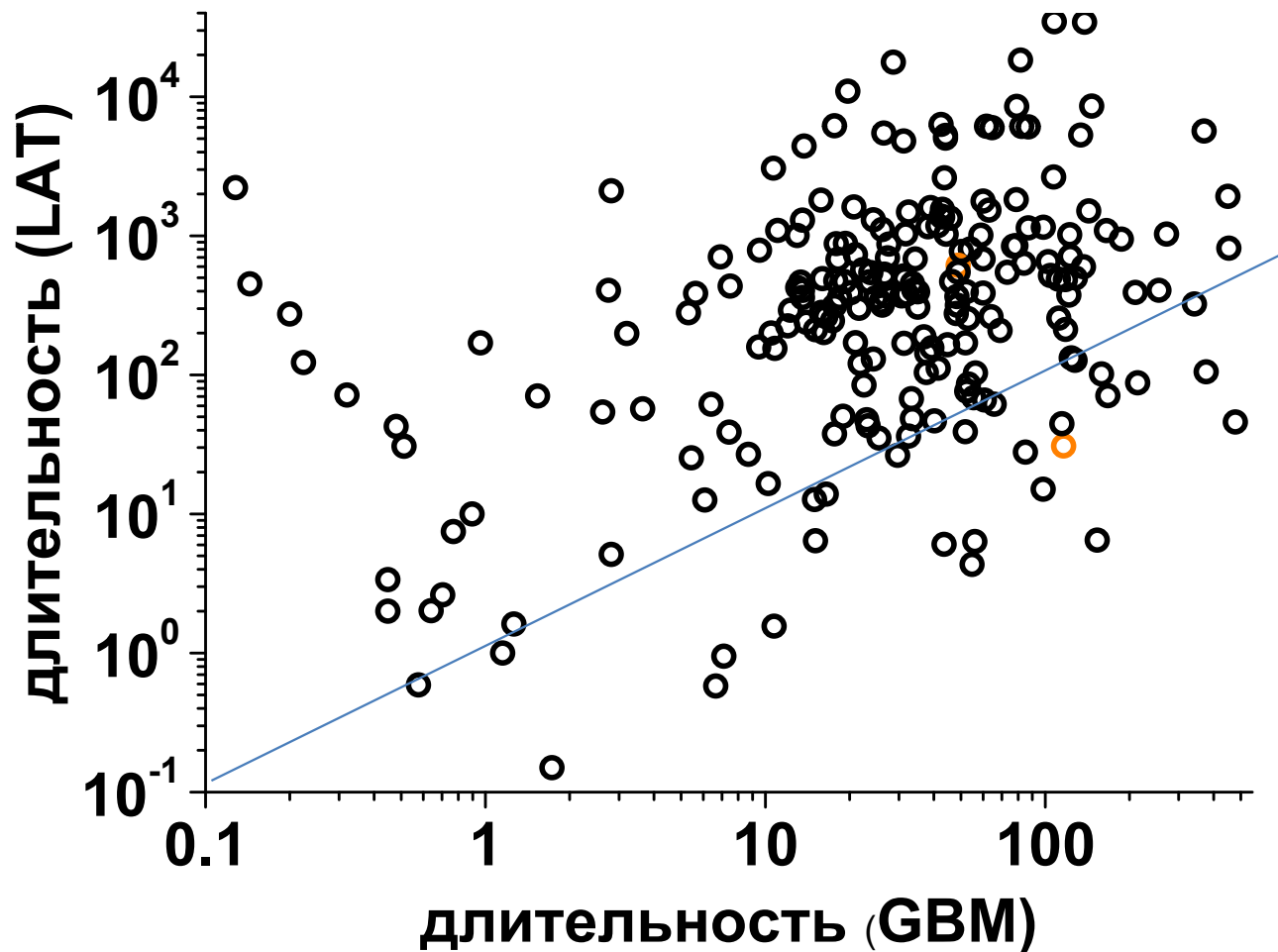


Fermi: Продленное высокоэнергетическое излучение для нескольких десятков GRB



Временные профили GRB 080825С, GRB 090525 и GRB 090902В по данным : (а) LAT и (б) GBM.

Fermi: нет зависимости длительности высокоэнергетической компоненты GRB от длительности низкоэнергетической

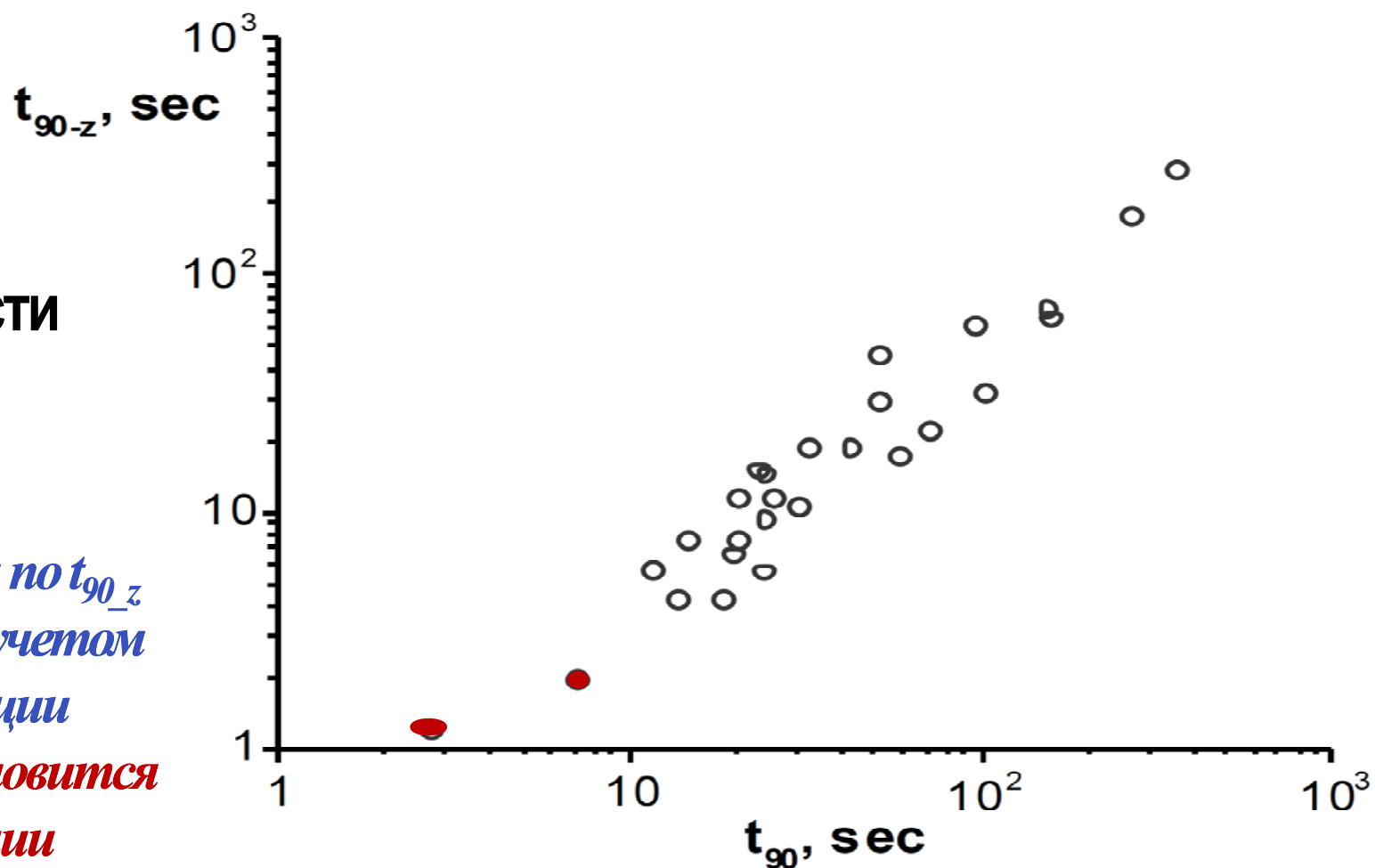


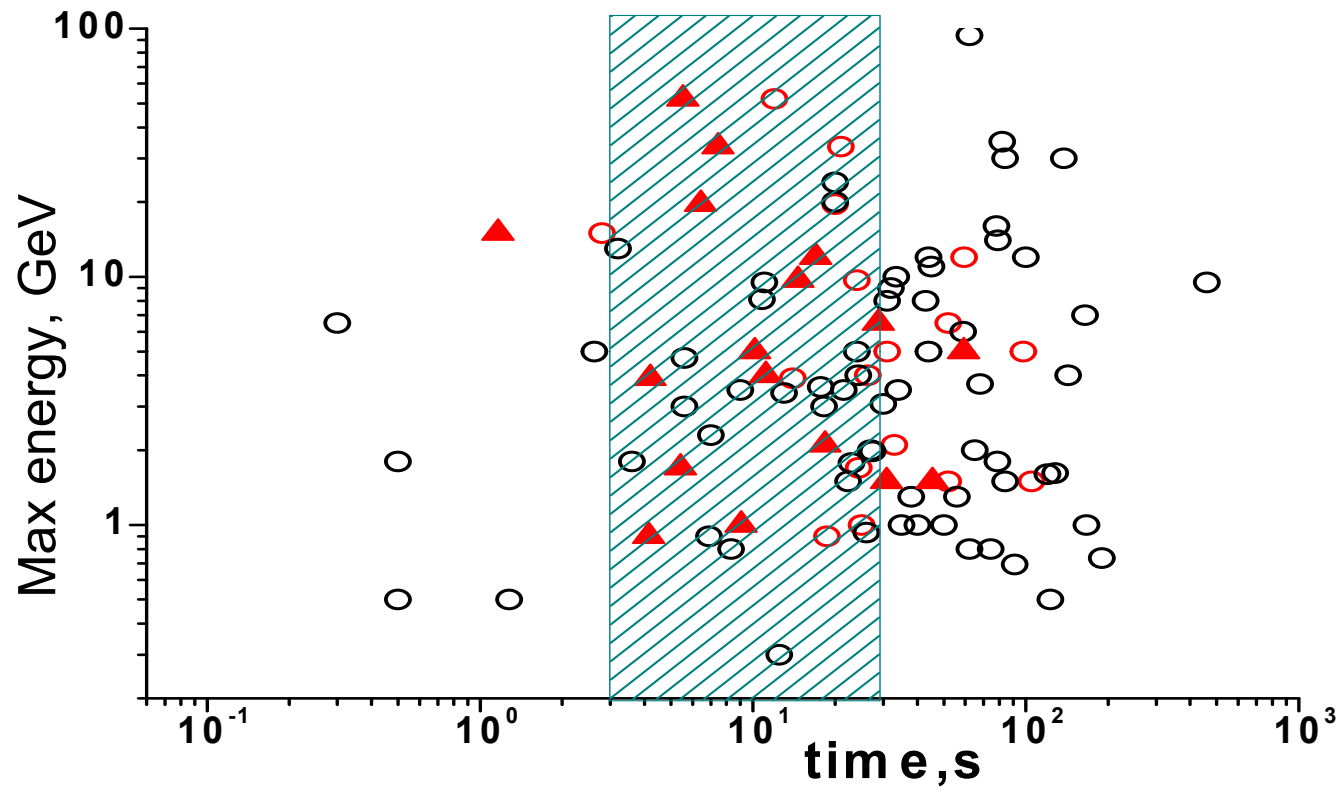
можно разделить всплески на 2 группы. Для GRBs первой группы длительность высокоэнергетического излучения меньше, чем t_{90} , для второй – больше.

Большинство источников GRBs имеют космологическое происхождение (например, $z\text{GRB050904}=6.3$, $z\text{GRB090423}=8.2$ и $z\text{GRB090429B}\sim 9.2$ – см. данные о красном смещении в каталогах)

⇒ необходимо
рассматривать
коррекцию на
космологическое
растяжение длительности
GRBs

*Распределение GRBs по t_{90} и по t_{90_z}
для некоторых событий с учетом
космологической коррекции
Длительность 2 GRBs становится
менее 2 с после коррекции*

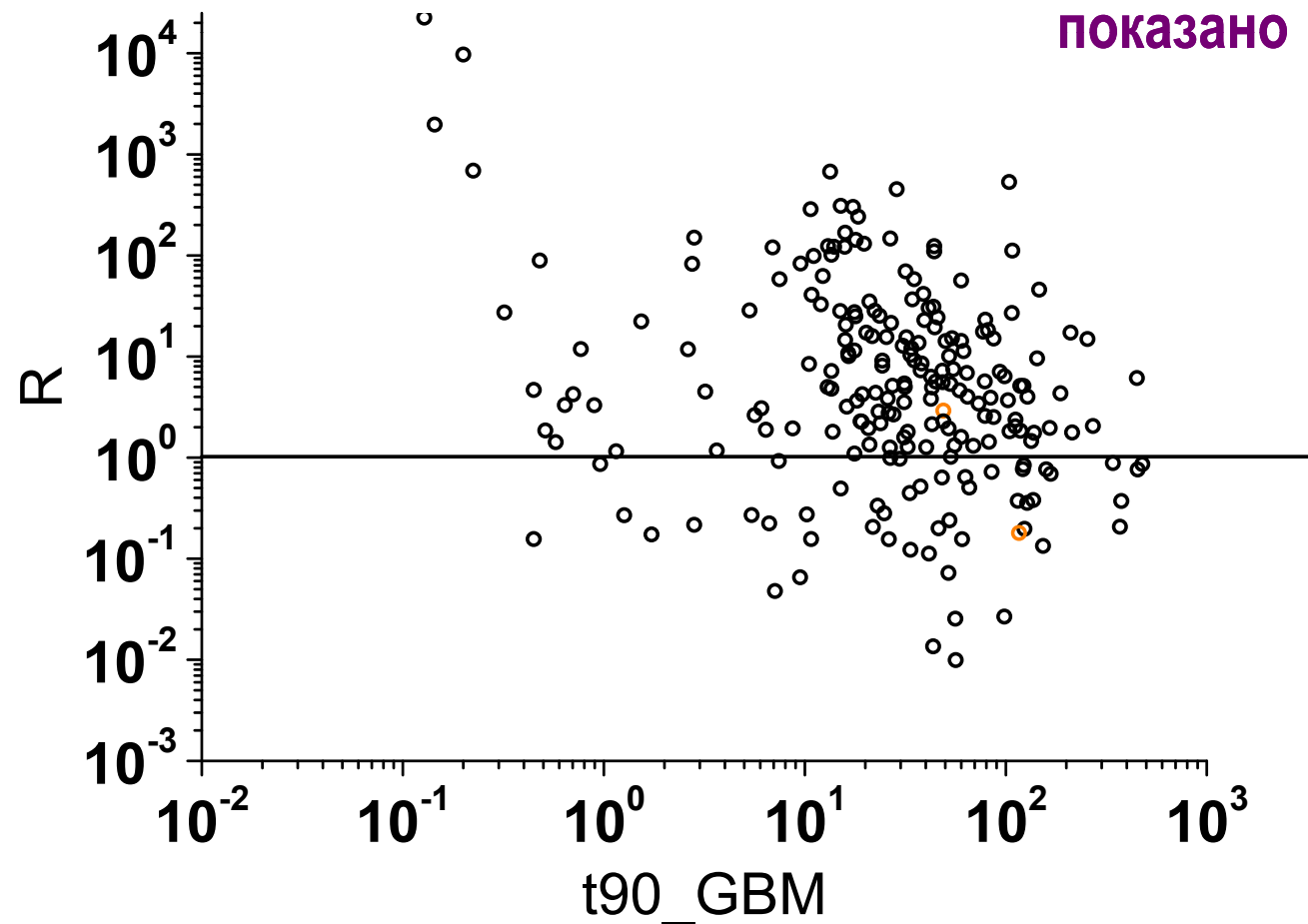




Распределение GRBs , зарегистрированных LAT, по длительности и максимальной зарегистрированной энергии (отмечены кругами). Красные круги показывают всплески с известным красным смещением и красные треугольники показывают длительность этих событий t_{90_z} с учетом космологической коррекции, после чего большая часть событий оказывается в интервале $2 \text{ с} < t_{90} < 30 \text{ с}$

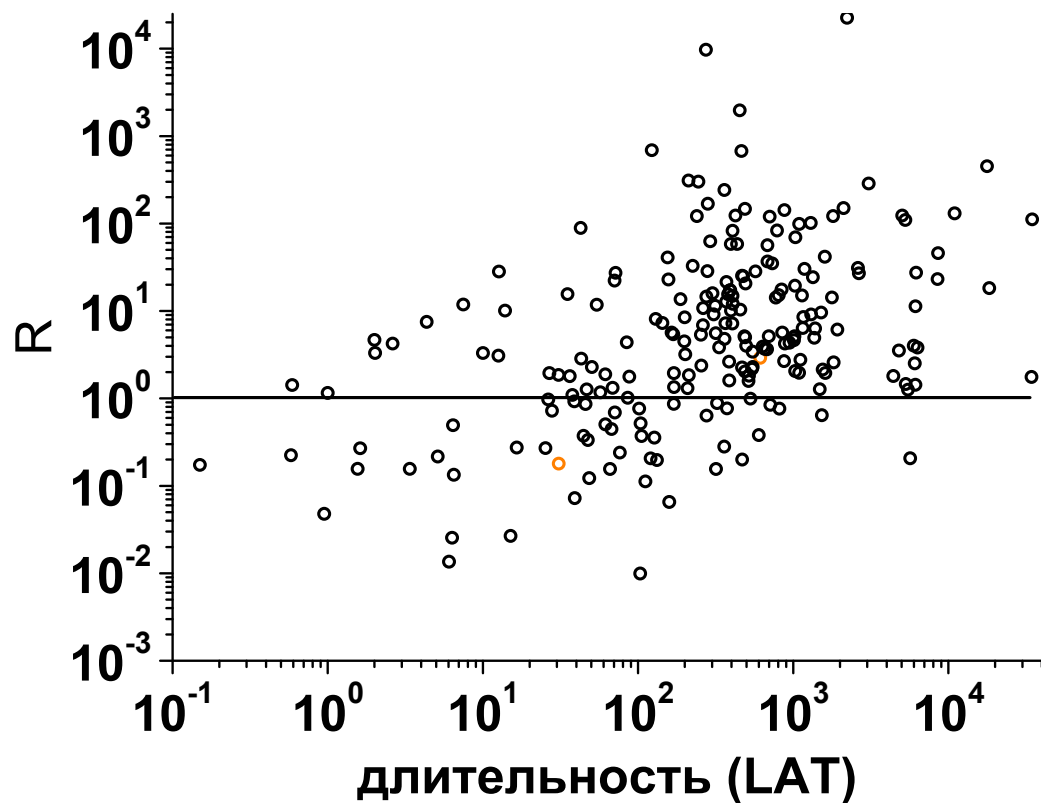
К сожалению, красное смещение известно для источников менее половины GRBs, зарегистрированных LAT. Для дальнейшего анализа новый параметр R_t вводится в как отношение времени прихода фотона с максимальной энергией к длительности всплеска, причем он не требует учета космологического растяжения. Значение $R_t=1$

показано линией. Возможно также выделить 2 группы событий, разделенных по этому признаку.



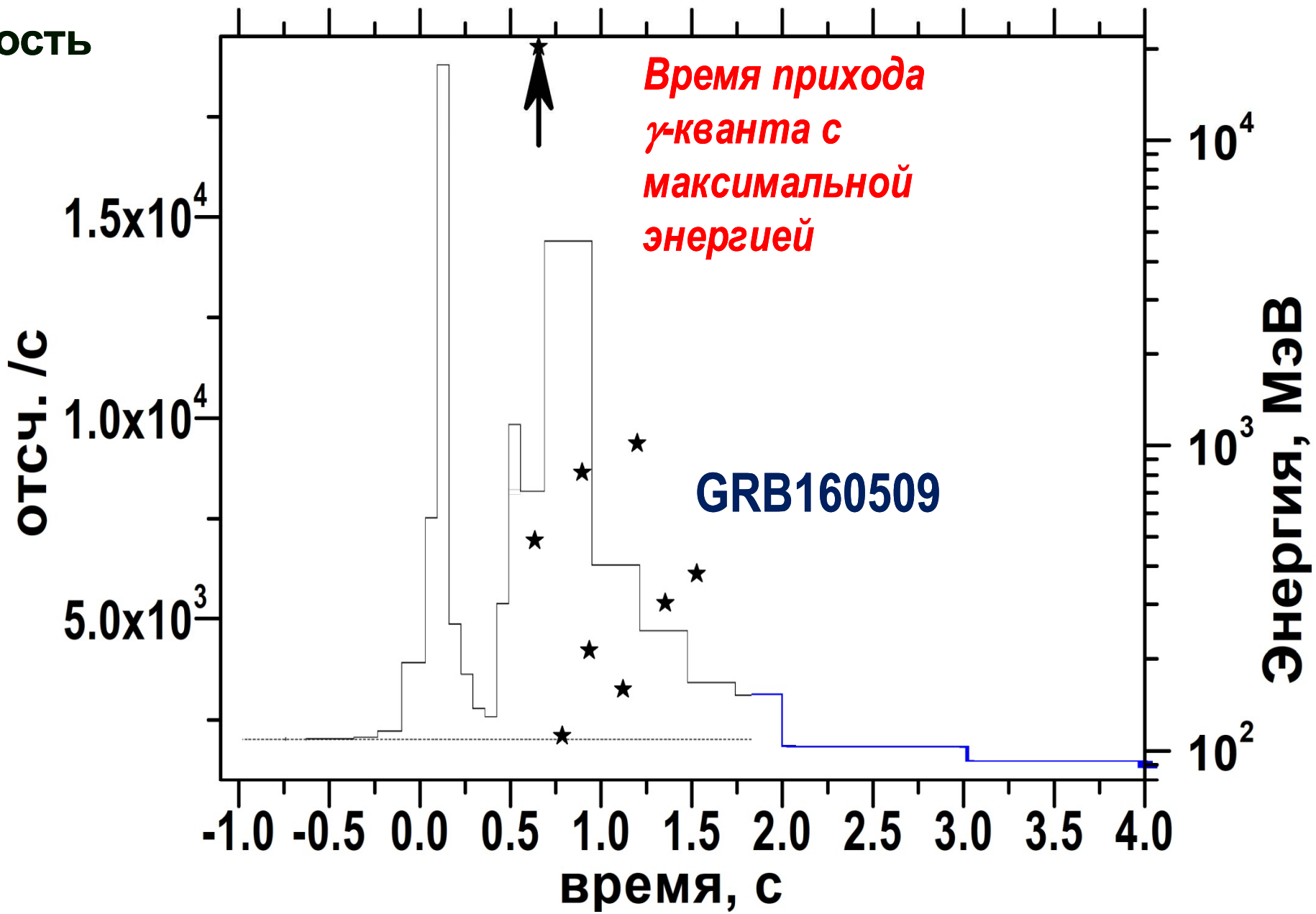
Распределение GRBs, зарегистрированных LAT, по R_t и t_{90_GBM}

К сожалению, красное смещение известно для источников менее половины GRBs, зарегистрированных LAT. Для дальнейшего анализа новый параметр R_t вводится в как отношение времени прихода фотона с максимальной энергией к длительности всплеска, причем он не требует учета космологического растяжения. Значение $R_t=1$ показано линией. Возможно также выделить 2 группы событий, разделенных по этому признаку.

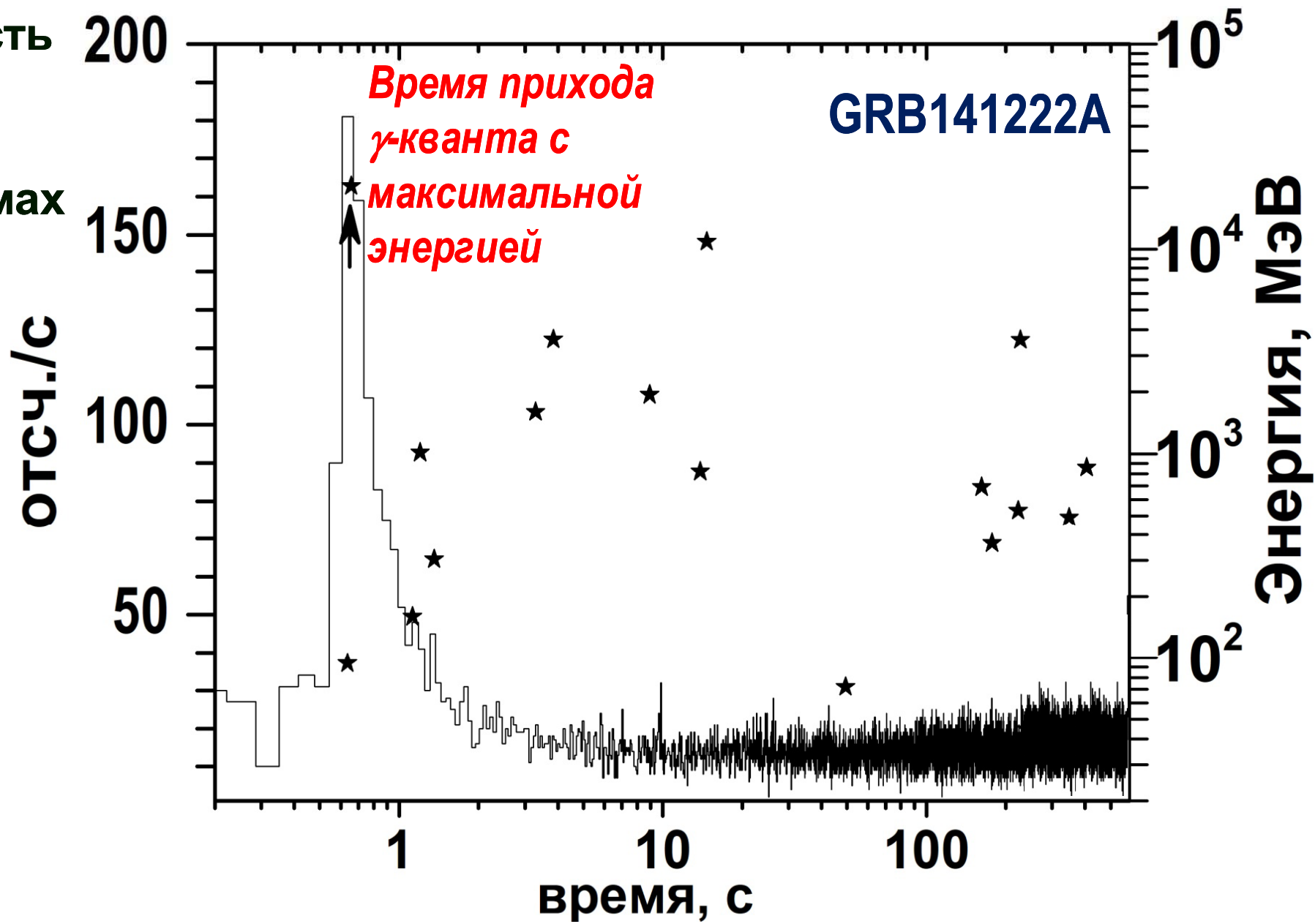


Распределение GRBs, зарегистрированных LAT, по R_t и длительности по LAT

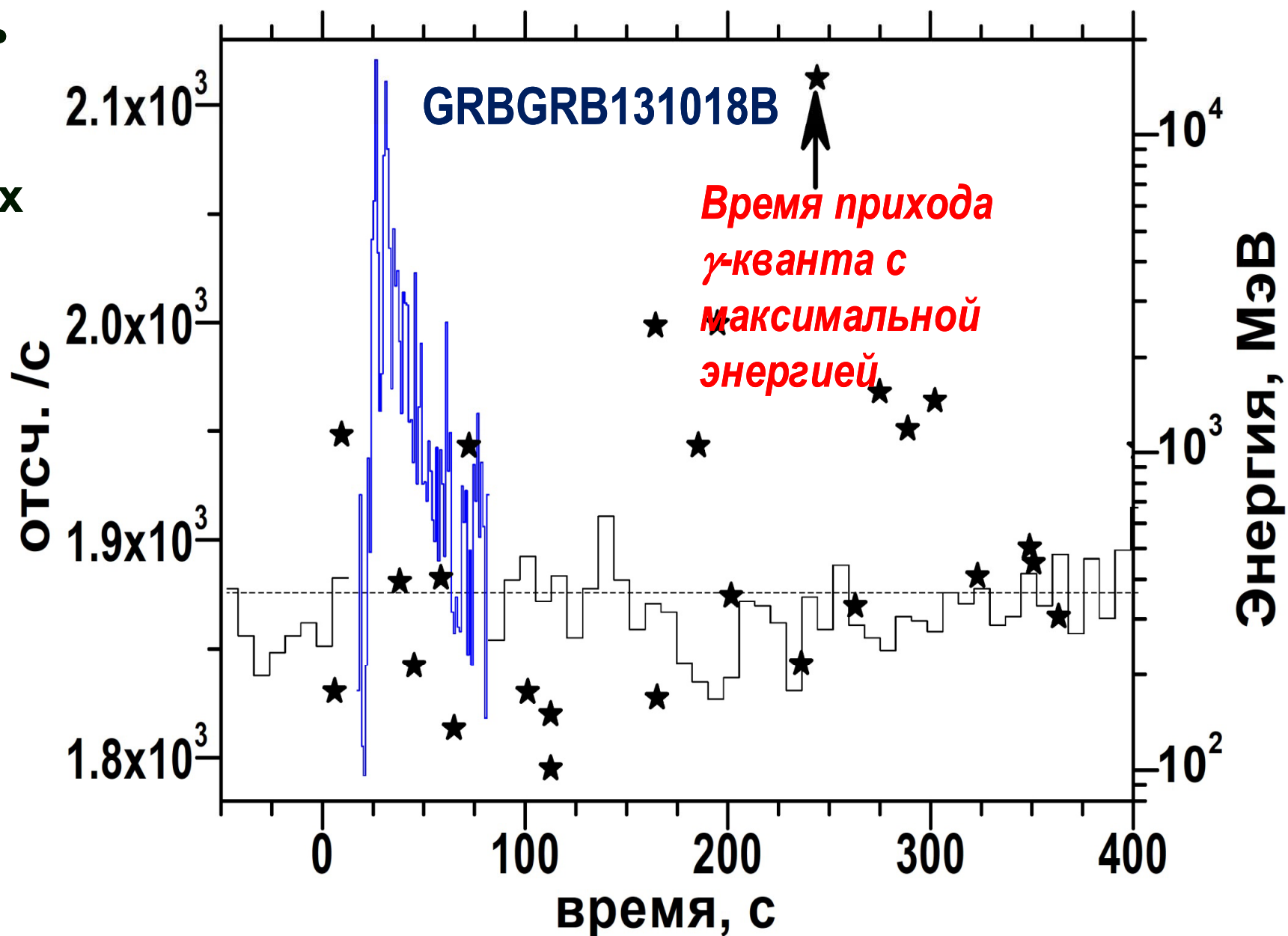
1) длительность
НЕ меньше,
чем t_{90}



2) длительность НЕ больше, чем t_{90} ,
а) γ -квант с E_{\max} пришел в пределах t_{90}



2) длительность
HE больше,
чем t_{90} ,
б) γ -квант с E_{\max}
пришел за
пределами t_{90}



для 25% фотон с максимальной энергией регистрировался в пределах длительности события t_{90} , но для остальных 75% событий такие фотоны наблюдались более чем через 10 с после его окончания.

Более того, анализ предварительных результатов позволяет сделать вывод о существовании 3х групп длинных всплесков.

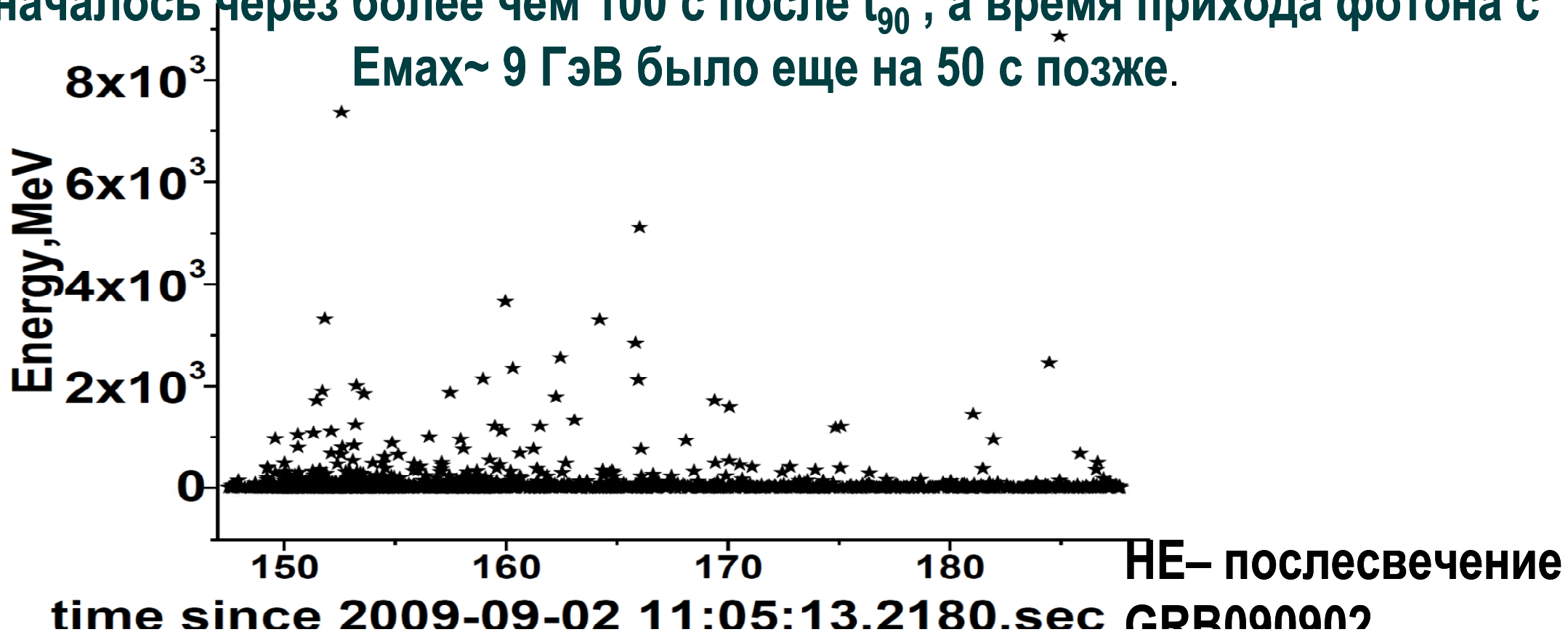
1) длительность высокоэнергетического излучения меньше, чем t_{90} ;

2) длительность высокоэнергетического излучения больше, чем t_{90} :

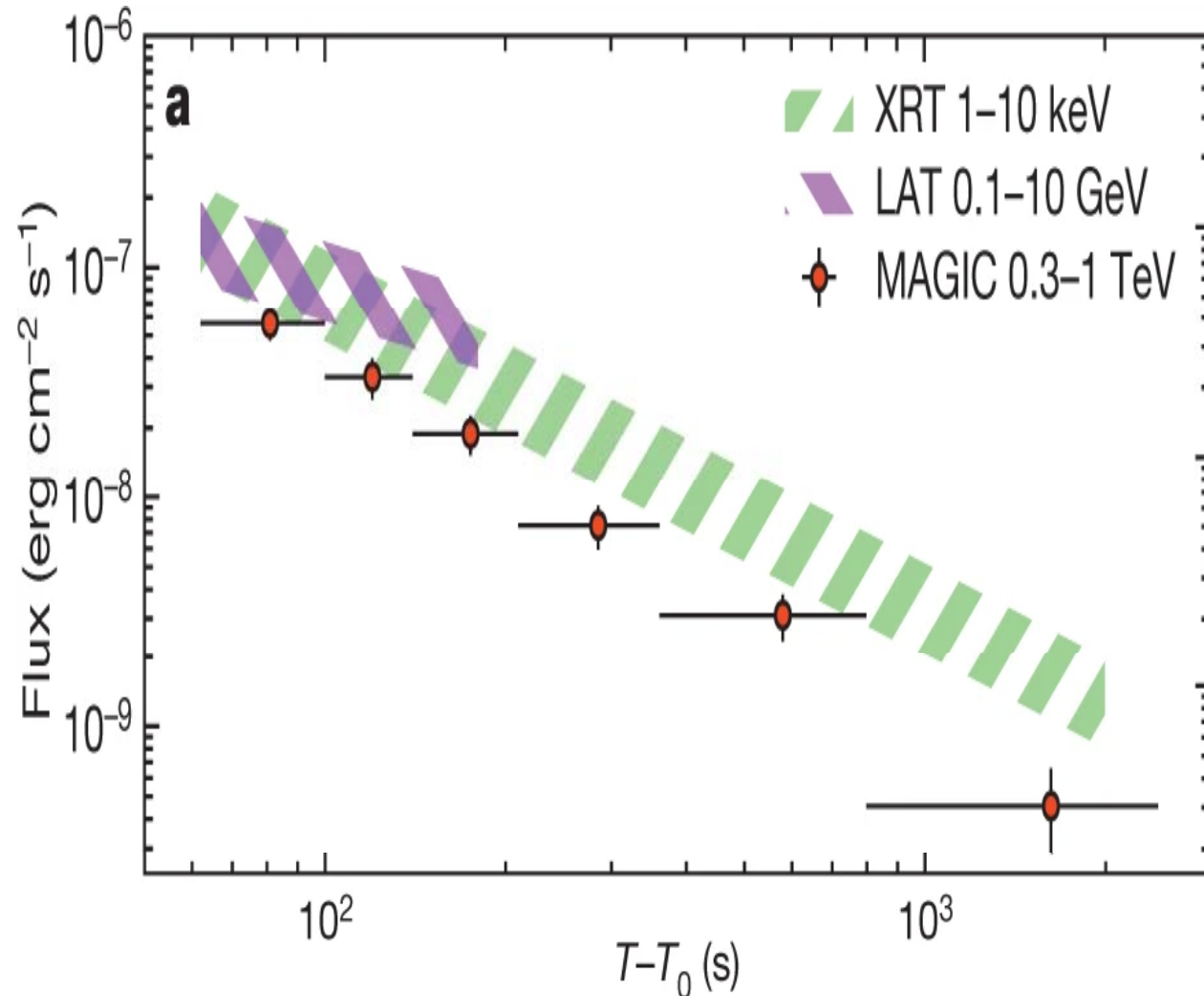
а) фотон с максимальной энергией был зарегистрирован в пределах t_{90} ,

б) такой γ -квант наблюдался существенно позже

Эпизод высокоэнергетического излучения во время некоторых GRBs может длиться так долго, что интерпретируется как HE-послесвечение, а не излучение быстрой фазы. К примеру, во время GRB090902 высокоэнергетическое излучение по данным FERMI/LAT началось через более чем 100 с после t_{90} , а время прихода фотона с $E_{\max} \sim 9$ ГэВ было еще на 50 с позже.

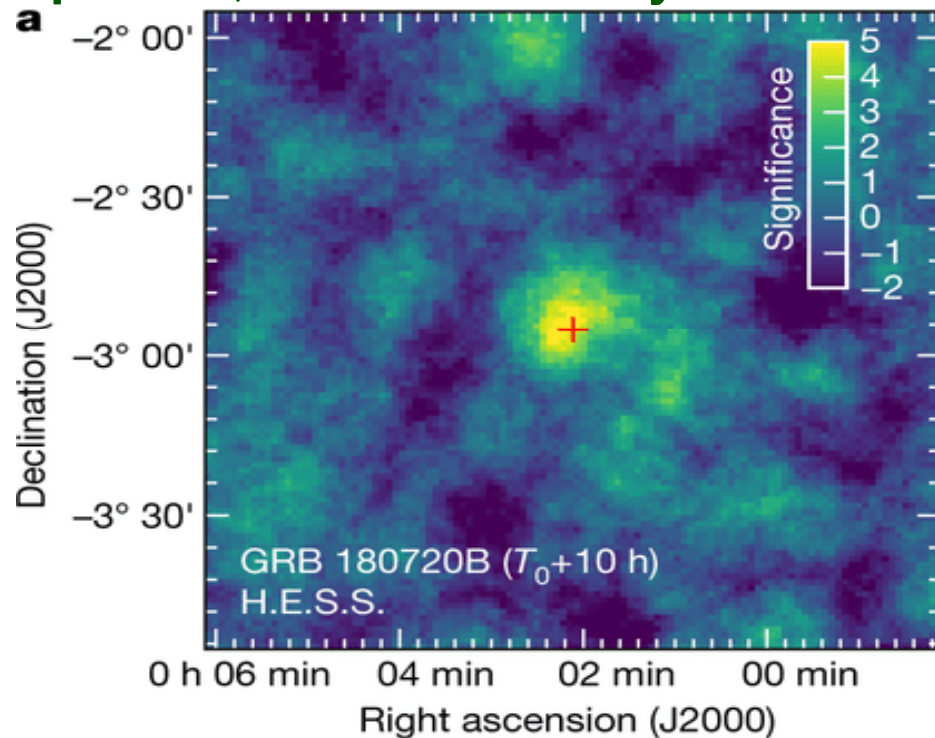


Не наблюдается значимой корреляции между E_{max} и Z во время GRBs с присутствием излучения в субТэВной области, такие GRB, по результатам предварительного анализа, имеют характеристики, аналогичные типу 2б:

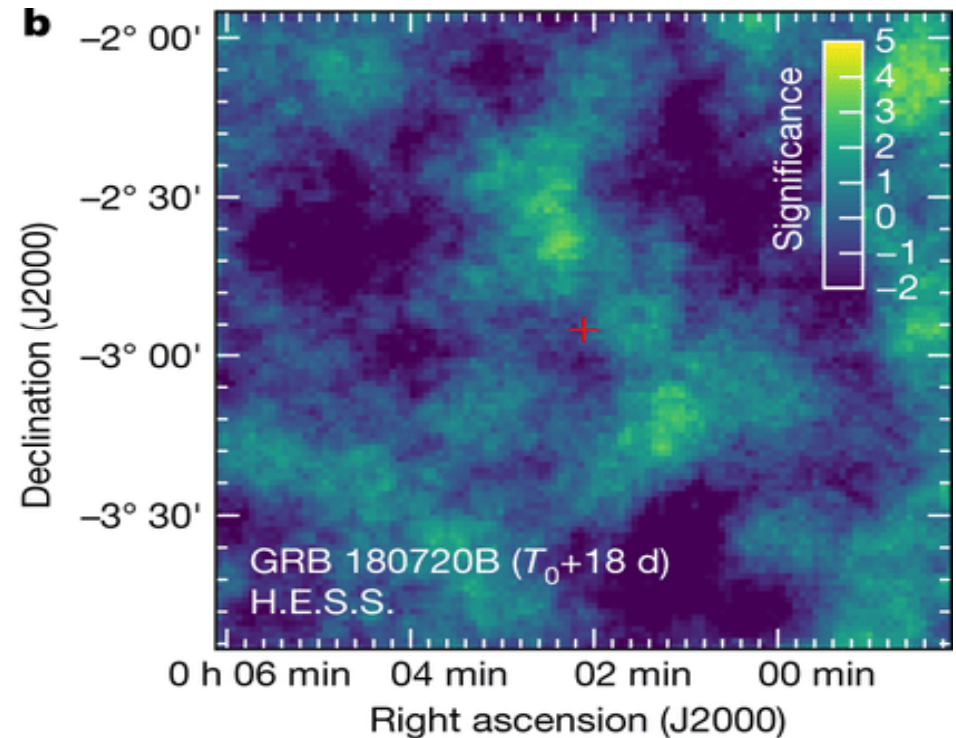


➤ MAGIC начал регистрацию GRB 190114C на 50 с позже триггера и наблюдал фотоны с $E > 300$ ГэВ первые 20 мин на уровне значимости более 20σ (Mirzoyan, 2019). GRB190114C близкий длинный всплеск ($z = 0.4245$ и $t_{90} \sim 120$ с в области низких энергий)

Не наблюдается значимой корреляции между E_{max} и Z во время GRBs с присутствием излучения в субТэВной области, такие GRB, по результатам предварительного анализа, имеют характеристики, аналогичные типу 2б:



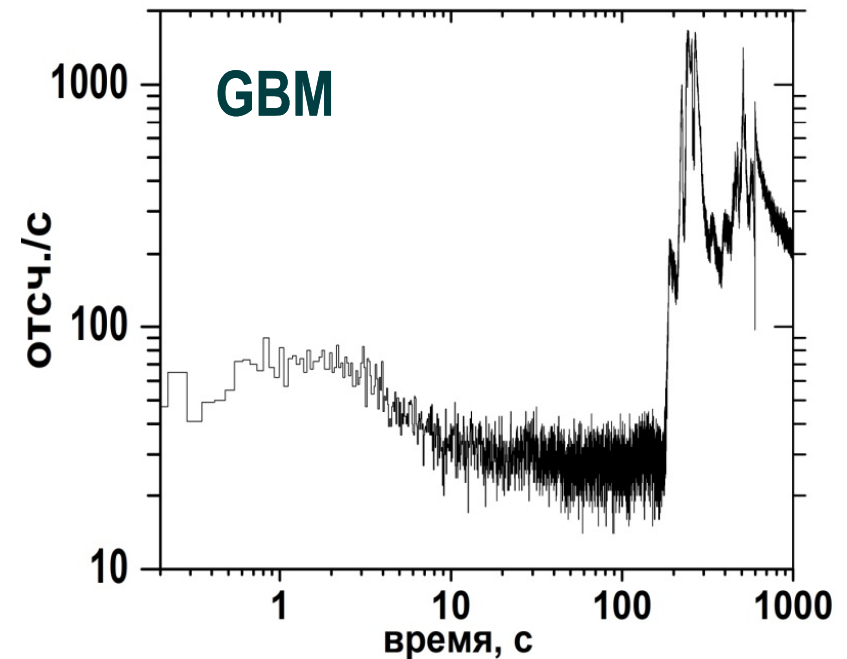
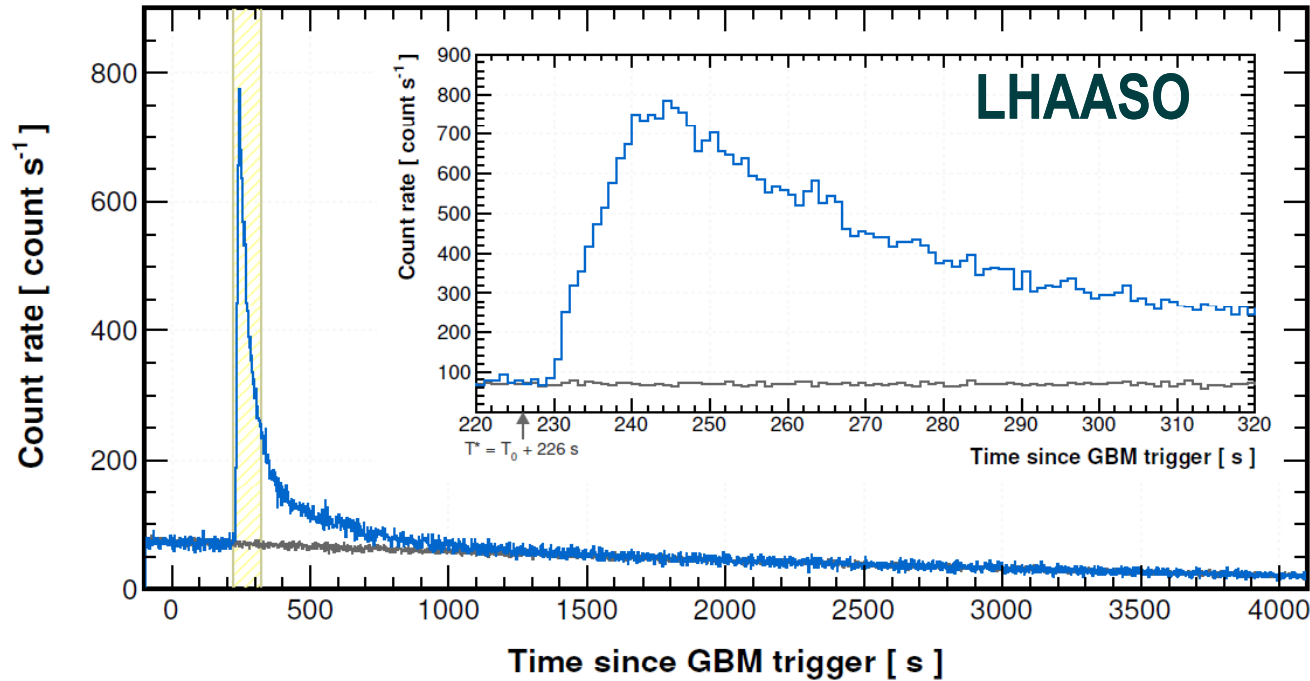
a) $T_0 + 10.1$ h for 2 h



b) $T_0 + 18.4$ d ÷ $T_0 + 24.4$ d.

- H.E.S.S. начал регистрацию GRB 180720B на ~ 10 ч позже триггера и наблюдал фотоны в области 100–440 ГэВ (Ruiz-Velasco, 2019). GRB 180720B близкий длинный всплеск ($z = 0.6535$ и $t_{90} \sim 150$ s в области низких энергий)

Не наблюдается значимой корреляции между E_{max} и Z во время GRBs с присутствием излучения в субТэВной области, такие GRB, по результатам предварительного анализа, имеют характеристики, аналогичные типу 2б:



- Large High Altitude Air Shower Observatory (LHAASO) начала регистрацию **GRB 221009A** на ~ 220 с позже триггера, наблюдались фотоны до $E \sim 18$ ТэВ на уровне значимости более 20σ (LHAASO Collaboration, 2023). GRB190114C близкий длинный всплеск ($z = 0.151$ и $t_{90} \sim 8$ с + ~ 100 с через ~ 180 с + ??перекрутка) в области низких энергий)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время зарегистрировано высокоэнергетическое гамма-излучение послесвечения как длинных, так и коротких GRBs (к примеру, GRB090926 и GRB090510 соответственно), но фотоны в области $E > 0.1 \text{ TeV}$ обычно наблюдаются во время длинных GRBs, причем длительность HE иногда в десятки раз превышала длительность низкоэнергетического излучения, что позволило говорить о жестких послесвечениях гамма-всплесков.

Большинство источников GRBs имеют космологическое происхождение (например, красные смещения GRB050904 и GRB090429B составляют, соответственно 6.3 и ~ 9.2 .), соответственно, необходимо рассматривать коррекцию на космологическое растяжение длительности GRBs.

В представленной работе обсуждаются свойства энергетических

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Большинство источников GRBs имеют космологическое происхождение, соответственно, необходимо рассматривать коррекцию на космологическое растяжение длительности GRBs. Новый параметр R_t вводится в представленной работе как отношение времени прихода фотона с максимальной энергией к длительности всплеска, причем он не требует учета космологического растяжения. Как минимум 2 группы длинных GRBs выделяются при использовании параметра R_t : для 25% фотон с максимальной энергией регистрировался в пределах длительности события t_{90} , но для остальных 75% событий такие фотоны наблюдались более чем через 10 с после его окончания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Более того, анализ предварительных результатов позволяет сделать вывод о существовании 3х групп длинных всплесков.

- 1) длительность высокоэнергетического излучения меньше, чем t_{90} ,
- 2) длительность высокоэнергетического излучения больше, чем t_{90} :
 - а) фотон с максимальной энергией был зарегистрирован в пределах t_{90} ,
 - б) такой γ -квант наблюдался существенно позже t_{90} .

неоднородность популяции источников длинных GRBs?

Спасибо за внимание!